

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-71416
(P2002-71416A)

(43)公開日 平成14年3月8日(2002.3.8)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード*(参考)
G 0 1 F 1/692		F 0 2 D 41/18	B 2 F 0 3 5
F 0 2 D 41/18		45/00	3 6 6 B 3 G 0 8 4
45/00	3 6 6	G 0 1 F 1/68	1 0 4 B 3 G 3 0 1
			1 0 4 C

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2000-263553(P2000-263553)

(22)出願日 平成12年8月31日(2000.8.31)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71)出願人 000232999

株式会社日立カーエンジニアリング

茨城県ひたちなか市高場2477番地

(72)発明者 山田 雅通

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外1名)

最終頁に続く

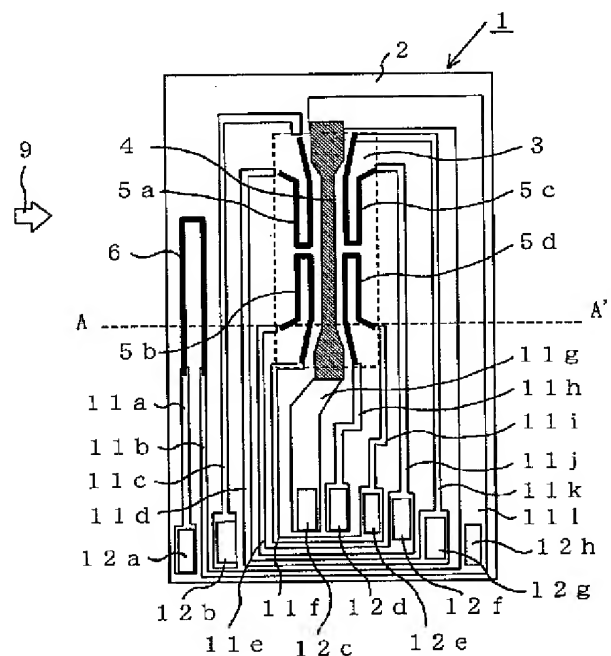
(54)【発明の名称】 熱式空気流量センサ及び内燃機関制御装置

(57)【要約】

【課題】低コストで高温加熱に長時間使用可能な信頼性の高い内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置を提供する。

【解決手段】 空洞部8上に電気絶縁膜7aを介して感温抵抗体(発熱抵抗体4、測温抵抗体5a~5d)を形成し、この発熱抵抗体及び測温抵抗体を不純物ドーパ処理された多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜で構成する。この半導体薄膜に、不純物としてリン(P)又はボロン(B)を高濃度ドーピングし、酸素又は窒素がイオン注入した。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板に空洞部が形成され、該空洞部に電気絶縁膜を介して空気流量測定用の少なくとも発熱抵抗体が形成され、前記発熱抵抗体は、多結晶ケイ素薄膜に不純物としてリン又は／及びボロンを高濃度ドーピング処理し、かつ酸素又は／及び窒素がイオン注入された感温抵抗体よりなることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項2】 半導体基板に空洞部が形成され、該空洞部に電気絶縁膜を介して空気流量測定用の発熱抵抗体及び測温抵抗体が形成され、前記発熱抵抗体及び測温抵抗体は、多結晶ケイ素薄膜に不純物としてリン又は／及びボロンを高濃度ドーピング処理し、かつ酸素又は／及び窒素がイオン注入された感温抵抗体により構成され、前記半導体基板の空洞部外の電気絶縁膜上には、端子電極と、前記発熱抵抗体及び測温抵抗体の各々とそれに対応する前記端子電極とを接続する配線接続部とが金属の導電膜によりパターンニングされていることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項3】 前記発熱抵抗体及び測温抵抗体は、前記多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下になるように高濃度ドーピングおよびイオン注入処理されている請求項1又は2記載の熱式空気流量センサ。

【請求項4】 前記多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜には、ドーピング量 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲で酸素又は窒素がイオン注入されている請求項1から3のいずれか1項記載の熱式空気流量センサ。

【請求項5】 前記酸素又は窒素のイオン注入は、打ち込みエネルギーを変えて複数回行われており、このイオン注入により、前記多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の膜厚方向に前記酸素又は窒素が一様に分布している請求項1から4のいずれか1項記載の熱式空気流量センサ。

【請求項6】 請求項1から請求項5のいずれか1項記載の熱式空気流量センサを用いて内燃機関の吸入空気量を計測し、燃料噴射量を制御するように設定されていることを特徴とする内燃機関制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱式空気流量センサと内燃機関制御装置に係り、特に内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】熱式の空気流量センサは、質量空気量を直接計測できるという特長がある。このため、自動車などの内燃機関の電子制御燃料噴射制御装置において、吸入空気流量センサとして従来から広く利用されている。その中でも、最近では、半導体マイクロマシニング技術により作成した薄膜型の検出素子を用いた空気流量セン

サが、コスト低減と低電力駆動が可能である点から注目されている。

【0003】熱式空気流量センサは、基本的には温度依存性を有する感温抵抗体を、発熱抵抗体や測温抵抗体を利用するものである。その方式は種々ある。代表的なものとしては、空気流により熱が奪われる発熱抵抗体と空気温度測温抵抗体との温度差を所定値に保つように発熱抵抗体の加熱電流を制御し、その加熱電流を電気信号に変換して空気流量を計測するものや、さらに、最近では、半導体基板にマイクロマシニングにより空洞部と該空洞部を覆う電気絶縁膜(ダイヤフラム部)を形成し、この電気絶縁膜に、発熱抵抗体と、該発熱抵抗体を挟んで上流側と下流側に位置する測温抵抗体とを形成し、前記上流側と下流側の測温抵抗体の温度差に基づき空気流量を計測するものなどが提案されている。半導体タイプの熱式空気流量センサとしては、例えば特許公報第2880651号公報に開示されているように、発熱抵抗体として耐熱性および材料コストの利点から多結晶ケイ素(ポリシリコン)が使用されている。また、ポリシリコンにドーピングを施すことによって、所望の抵抗率と抵抗値が得られるようにしている。

【0004】なお、熱式空気流量計以外の半導体技術として、例えば、特開昭55-82458号公報に記載されるように、半導体基板にポリシリコンにより高抵抗素子(特に $1 \text{ M}\Omega$ 以上)及びその両端に電極を製造するプロセスにおいて、半導体基板上に酸化シリコン膜を介してポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層にリン、ボロンなどの導電性を有する不純物を相当量添加して一旦抵抗を配線として機能する程度に十分に下げたのち、ドーピングの制御性が良いイオン注入法により高抵抗素子となるべき領域に酸素又は窒素を相当量イオン注入して抵抗を徐々に高めていく技術が知られている。この従来技術は、半導体の製造プロセスにおいて、ポリシリコンに高抵抗領域と電極領域を形成する場合に、電極領域の不純物が抵抗領域に拡散するのを防ぐためのものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、熱式空気流量計の分野においては、発熱抵抗体(空気流量測定素子)として不純物をドーピングしたポリシリコン薄膜を使用した場合、発熱抵抗体を長時間加熱通電することにより発熱抵抗体の抵抗値に経時変化が生じるなどの傾向がみられるので、その経時変化の抑制が望まれる。本発明の目的は、低コスト、低消費電力で、性能的にも感度が良く、しかも上記した抵抗値の経時変化を十分に抑制して、長期性能信頼性の高い熱式空気流量センサおよび内燃機関制御装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、基本的には、次のように構成する。

【0007】すなわち、半導体基板に空洞部が形成さ

れ、該空洞部に電気絶縁膜を介して空気流量測定用の少なくとも発熱抵抗体が形成され、前記発熱抵抗体は、多結晶ケイ素薄膜（ポリシリコン）に不純物としてリン又は／及びボロンを高濃度ドーブ処理し、かつ酸素又は／及び窒素がイオン注入された感温抵抗体よりなることを特徴とする。

【0008】上記構成において、発熱抵抗体を構成するポリシリコンに、リン（P）又はボロン（B）を高濃度ドーブ処理することにより、所望の抵抗率と抵抗値が得られる。ところで、不純物ドーブしたポリシリコンは、高温における長期通電により、ポリシリコンの結晶粒間の粒界にリン（P）やボロン（B）が拡散析出し、その結果、結晶粒内の不純物濃度が減少して抵抗値が増大する経時変化が認められた。このようなリン（P）やボロン（B）の拡散を抑制するには、酸素や窒素をイオン注入することが有効である。

【0009】なお、熱式空気流量計以外の分野においては、既述したようにポリシリコンに高抵抗領域と電極とを形成する場合に、その高抵抗領域に酸素や窒素のイオンを注入することで抵抗を高める技術が知られているが、これは、半導体製造プロセスにおいて電極部の不純物（リン、ボロン等）が高抵抗領域に拡散するのを防止するためのものであり、電極と抵抗をポリシリコンで形成することを前提として半導体製造プロセス上の問題を解決するものであり、また、常温で使用される半導体装置を対象とするものであり、本願発明のように熱式空気流量計の発熱抵抗体の使用時の熱的経時変化といった課題を解決するものではない。本願発明は、上記構成をなすことにより、熱式空気流量計に半導体タイプの空気流量測定素子を成立させる場合に、高温使用時の経時変化を防止できる発熱抵抗体（感温抵抗体）を実現させることができた。

【0010】また、ポリシリコン薄膜の抵抗率（ ρ ）が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下になるように、高濃度ドーブおよびイオン注入処理することにより発熱抵抗体として最適な抵抗値および抵抗温度係数が実現できる。更には、前記ポリシリコン薄膜を、1050℃以上の温度、30分以上の処理時間の不純物熱拡散工程により、リン（P）又はボロン（B）を高濃度ドーブ処理した後、ドーブ量 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲で酸素又は窒素のいずれかをイオン注入し、その後600～1000℃の熱処理を施すことにより更に長期の加熱通電においても抵抗値の安定化が図れる。

【0011】また、イオン注入に際し、イオン注入は各酸素又は窒素の平均投影飛程を考慮し、前記ポリシリコン薄膜の膜厚方向に各酸素又は窒素を一様に分布させる為に、打ち込みエネルギーを変えて複数回行うことにより更に長期の加熱通電においても抵抗値の安定化が図れる。

【0012】そして、これらの熱式空気流量センサを用

いて、内燃機関の吸入空気量を計測し、燃料噴射量を制御することにより、高信頼で高精度の内燃機関制御装置を実現することができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面に示した実施例に基づき詳細に説明する。

【0014】図1は、本発明の熱式空気流量センサの素子を示す平面図、図2は、図1のA-A'線断面図である。

【0015】図1、図2に示すように、センサ素子1は、全体が半導体基板2をベースとして形成されている。

【0016】半導体基板2は、裏面からのエッチング加工により空洞部8が形成されている単結晶ケイ素（Si）の板で、その一方の面（図では上側の面）に電気絶縁膜7aによるダイヤモンド部3が形成されている。ここで、空洞部8は輪郭が略矩形の孔として形成されている。電気絶縁膜7aは、例えば、二酸化ケイ素（ SiO_2 ）と窒化ケイ素（ Si_3N_4 ）の多層薄膜で作られている。

【0017】ダイヤモンド部3は、空洞部8の一面全体を覆う構造であり、空洞部8上には、電気絶縁膜7aを介して、発熱抵抗体4と測温抵抗体5a～5dが形成されている。測温抵抗体5a、5bは、空気流方向において発熱抵抗体4の上流側に位置し、測温抵抗体5c、5dは、発熱抵抗体4の下流側に位置するように形成されている。

【0018】本例では、上流側測温抵抗体、下流側測温抵抗体は、符号5a、5b及び5c、5dに示すようにそれぞれ2個あり、その回路構成は、図5に示すように上流側測温抵抗体5aと下流側測温抵抗体5cとが直列に接続され、下流側測温抵抗体5dと上流側測温抵抗体5bとが直列に接続され、かつこれらの測温抵抗体により接続端子12b及び12fを介してブリッジ回路を構成しており、所定の電圧Vrefが印加されている。

【0019】半導体基板2におけるダイヤモンド部3の外側にも電気絶縁膜7aが形成されており、この外側の電気絶縁膜7aの表面には、空気温度測温抵抗体6が設けられている。

【0020】発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6は、図5に示すように抵抗21aと抵抗21bとによりブリッジ回路が構成され、ブリッジ回路と接続される制御回路16及びトランジスタ20を介して、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6との温度差が所定の差になるように、発熱抵抗体4に流れる加熱電流が制御されるようにしてある。

【0021】発熱抵抗体4、空気温度測温抵抗体6および測温抵抗体5a～5dは、温度依存性を有する感温抵抗体よりなり、多結晶ケイ素薄膜（ポリシリコン薄膜）にリン（P）又はボロン（B）を高濃度ドーブ処理した

10

20

30

40

50

後、ドーズ量 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲で酸素又は窒素をイオン注入してなり、所定の導電性(抵抗値)を持つ細条の抵抗パターンとして形成されている。

【0022】発熱抵抗体4は、矢印9で示した空気の流れ方向に対して略直交する方向に一直線に配置されており、この発熱抵抗体4の上流側に位置する測温抵抗体5a、5b及び下流側に位置する測温抵抗体5c、5dは、それぞれダイヤフラム部3の一端から発熱抵抗体4に沿って伸びてダイヤフラム部中央付近でユーターンす

るようにパターン形成され、このようなパターン形成により測温抵抗体の長さをダイヤフラム部3の中で有効に確保している。上流側の測温抵抗体5a、5b及び下流側の測温抵抗体5c、5dは、対称配置されている。

【0023】電気絶縁膜7aの表面でダイヤフラム部3の外側(空洞部外の半導体基板領域)には、発熱抵抗体4、測温抵抗体5a～5d及び空気温度測温抵抗体6の配線接続部11(11a、11b、11c、11d、11e、11f、11g、11h、11i、11j、11k、11l)と、それらの端子電極部12(12a、12b、12c、12d、12e、12f、12g、12h)が形成されている。端子電極部12は、基板2の一辺寄りの位置に配設され、上記した配線接続部11を介して発熱抵抗体4、測温抵抗体5a～5d、空気温度測温抵抗体6と接続されている。

【0024】端子電極部12は、アルミニウム(A1)、金(Au)などの薄膜パッドで形成されている。配線接続部11も、アルミニウム、金などの金属薄膜によりパターニングされている。電気絶縁膜7aの表面には、各抵抗体などを保護するための電気絶縁膜7bが、

【0025】本実施例では、空洞部8は異方性エッチングにより矩形の輪郭で形成し、その空洞を電気絶縁膜7a、7bにより覆っている。内燃機関の吸気管中には、塵埃、油、水などが空気流に混じることがあるが、上記空洞部8は、ダイヤフラムにより全面的に覆われているので、塵埃、油、水などが空洞部に進入することを防止できる。

【0026】次に本実施形態による空気流量計測動作について説明する。

【0027】発熱抵抗体4には、加熱電流が供給され、発熱抵抗体の温度が空気流9の温度よりも一定の温度だけ高くなるように制御される。この加熱電流制御についての回路動作及び測温抵抗体の回路動作については、図5により後述する。

【0028】空気の流量と空気の流れる方向は、発熱抵抗体4の上流側に設けられている測温抵抗体5a、5bと下流側に設けられている測温抵抗体5c、5dの温度(抵抗値)を比較することにより計測される。

【0029】すなわち、空気流量がゼロのときは、上流側の測温抵抗体5a、5bと下流側の測温抵抗体5c、5dは、発熱抵抗体4の発熱による加熱条件が同じなので、同じ温度を示すことになり、温度差は生じない。換言すれば、ダイヤフラム部3上の温度分布は、上流側も下流側も等しいことになる。空気の流れが矢印9方向(これを順流という)のときは、上流側の測温抵抗体5a、5bの方が下流側の測温抵抗体5c、5dより空気流9による冷却効果が大いことから、上流側測温抵抗体5a、5bと下流側測温抵抗体5c、5dとの間に温度差が生じ、この温度差から空気流量が計測される。

【0030】一方、空気の流れが矢印9と反対の方向(逆流という)のときには、今度は測温抵抗体5c、5dの温度の方が測温抵抗体5a、5bより低くなり、測温抵抗体5a、5bと5c、5dとの温度差を表す符号が逆転する。

【0031】従って、このことから、温度差の大きさにより空気流量が計測でき、温度差の符号から空気の流れ方向が判別できる。

【0032】図3は、図1のセンサ素子1を、例えば自動車の内燃機関の吸気通路10に実装し、内燃機関制御装置とした場合の一実施形態を示す断面図で、この場合、センサ素子1は、支持体14と外部回路15を含んだ形で、吸気通路10の内部にある副通路13の中に配置される。外部回路15は、図5に示す制御回路16、トランジスタ20、抵抗21a、21bなどで構成され、支持体14を介してセンサ素子1の端子電極部12(図1)に電気的に接続されることになる。

【0033】なお、本実施例における制御回路16は、加熱電流を制御するほかにCPU及びメモリ22を備えることで、センサ素子の測温抵抗体の温度差検出値に基づき吸入空気量(Q)を算出する。さらにこの吸入空気量に基づき、図示されないエンジン制御回路により内燃機関の燃料噴射量を制御するように構成されている。内燃機関の吸入空気は、通常は矢印9で示す方向に流れる(順流)。内燃機関の運転条件によっては、矢印9とは反対の方向に流れる場合(逆流)もあるが、この実施形態によれば、順流、逆流いずれの場合でも空気流量が正しく計測でき、且つ、それらの判別も可能である。

【0034】内燃機関の吸入空気流量は、高流量域では、質量流量で $Q=600 \text{ kg/時}$ 、流速にて $v=50 \text{ m/秒}$ の高流量に達し、アイドル運転などの低流量域から高負荷運転による高流量域までの広い範囲(ダイナミックレンジ)での計測が要求される。

【0035】図4は、センサ素子1と支持体14を拡大して示した図で、図示のように、センサ素子1は、絶縁体からなる支持体14に取付けられ、アルミナ等の電気絶縁基板上に端子電極部17と信号処理回路が形成してある外部回路15が、同じく支持体14上に取付けられている。

【0036】センサ素子1と外部回路15は、端子電極部12と端子電極部17の間を金線18などでワイヤボンディングして電氣的に接続した後、金線18、電極端子12、17と外部回路15を保護するため、上側から図示していない支持体を設けることにより保護される。

【0037】次に、図5により、本実施形態の回路構成及び動作を説明する。

【0038】図5の回路は、センサ素子1の各抵抗体4、5a、5b、5c、5d、6と、それらを駆動し制御する回路を示したものである。この図において、19は電源、20は加熱電流制御用のトランジスタ、21a、21bは抵抗、16は制御回路、22はメモリ回路である。制御回路16は、A/D変換器などを含む出力回路、それに演算処理などを行なうCPUで構成されている。

【0039】発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6は、抵抗21a、21bと共にブリッジ回路を形成し、その端子12a、12cの電圧が制御回路16に入力され、発熱抵抗体4の温度(T_h)が空気温度に対応する空気温度測温抵抗体6の温度(T_a)より、或る一定値($\Delta T_h = T_h - T_a = 150^\circ\text{C}$)だけ高くなるように各抵抗21a、21bの値が設定され、制御回路16により加熱電流が制御される。

【0040】すなわち、発熱抵抗体4の温度が設定値より低い場合には、制御回路16の出力によりトランジスタ20がオンし、発熱抵抗体4に加熱電流が流れ、設定温度より高くなるとトランジスタ20がオフし、これにより発熱抵抗体4の温度が設定値を保つように制御される。

【0041】上流側測温抵抗体5a、5bと下流側測温抵抗体5c、5dの温度差(抵抗値差)は、これらの抵抗体により構成されたブリッジ回路の端子12g、12eの電位差により検出される。

【0042】予め、空気流量がゼロの時にブリッジ回路の端子12g、12eの電位が一致するように、調整抵抗(図示せず)の抵抗値を調整するか、メモリ22に予め空気流量がゼロの時の端子12g、12eの電位差を記憶しておく。

【0043】空気流量の計測は、予め空気流量(Q)とブリッジ回路の端子12g、12eの電位差との関係をメモリ22にマップとして記憶しておき、端子12g、12eの電位差及び大小関係から、空気流量(Q)の計測値と流れ方向を判定して出力することができる。

【0044】本実施形態では、図示のブリッジ回路構成を前提として、発熱抵抗体4と空気温度測温抵抗体6の抵抗温度係数(α)が等しくなるように、これらを同じ不純物濃度にした多結晶のケイ素半導体薄膜で形成してあり、これにより、発熱抵抗体4の温度(T_h)を設定(例えば $\Delta T_h = 150^\circ\text{C}$)する際に必要な各抵抗21a、21bの抵抗値が単純な比例関係になるので、これ

らの設定が容易で簡便にできる。

【0045】本例では、4個の測温抵抗体5a、5b、5c、5dを用い、温度差検出のためのブリッジ回路を、上流側測温抵抗体5aと下流側測温抵抗体5cとの直列接続の組と下流側測温抵抗体5dと上流側測温抵抗体5bとの直列接続の組とを並列に組み合わせることで構成し、このようにすることにより、端子12g、12e間に生じる電位差が、一対の測温抵抗体からなるブリッジ回路に比して、約2倍になりその結果、感度が上がり、精度が向上する。

【0046】なお、空気流量(Q)の検出に際し、上流側測温抵抗体5a、5bと下流側測温抵抗体5c、5dの温度差を検出するのに加えて、発熱抵抗体4に流す加熱電流(図6における端子12cの電位に相当)を乗算して流量検出信号とすることも可能である。

【0047】次に、本実施例に係る熱式空気流量センサ素子の製造工程例について、図6を参照して説明する。

【0048】図6(a)にて、シリコン半導体基板2の上下面に、熱酸化処理により二酸化ケイ素(SiO_2)層7a、23を約0.5ミクロン厚に形成する。ここで、シリコン半導体基板2の上面に形成した電気絶縁膜7aとしては、前記の二酸化ケイ素以外の構成材でも可能である。例えば、機械強度が高く熱膨張係数がシリコン半導体基板2より若干大きく引張り残留応力を有する窒化ケイ素(Si_3N_4)を用いてもよく、或いは二酸化ケイ素と窒化ケイ素の多層構成とし、熱膨張係数および残留応力のマッチングを図った構成とすることにより、熱応力および残留応力による撓みが低減でき強度向上が図られる。

【0049】また、ダイヤフラムを構成し上記の電気絶縁膜7aの上層に形成する電気絶縁膜7bにも同様の膜構成とし、多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜24の上下方向に対して対称な膜構成とすることにより、更に熱応力および残留応力による撓みが低減でき強度向上が図られる。

【0050】次に(b)にて、電気絶縁膜7a上に発熱抵抗体4と測温抵抗体5a~5d、6の部材である非晶質ケイ素(Si)半導体薄膜24を、約1ミクロンの厚さでCVD等の方法で形成する。ここで、非晶質ケイ素(Si)半導体薄膜は、プラズマを用いたLPCVDあるいは電子サイクロトロン共鳴を用いたECR-PCVD、マイクロ波を用いたCVD等の方法にて形成する。薄膜の形成温度を 600°C 以下に制御することにより非晶質ケイ素(Si)半導体薄膜を得ることができる。

【0051】次に、非晶質ケイ素(Si)半導体薄膜24に熱拡散処理にて不純物ドーパ処理を行う。このドーパ処理は、リンガラス(POCl_3)を非晶質ケイ素(Si)半導体薄膜13表面に形成し 1050°C 、30分以上の熱処理を行い、抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下となるリン(P)が高濃度ドーパ処理された多結

晶化したケイ素(Si)半導体薄膜24が形成される。

【0052】ここでは、ケイ素(Si)半導体薄膜24は、非晶質膜として形成された後に熱拡散工程にて多結晶化されるが、この工程の方が、先に多結晶膜を形成して熱拡散した場合に比較して、リン(P)のより一層の高濃度ドーパ処理が可能となり抵抗率(ρ)の低減が図れるとともに抵抗温度係数(α)が大きくなり抵抗体として適切な材料特性となる。また、この工程にて不純物としてリン(P)を用いたが、ボロン(B)を不純物に用いて高濃度ドーパ処理を行っても効果は同じである。また、リンとボロンの双方を高濃度ドーパ処理してもよい。

【0053】次に(c)にて、ドーズ量 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲で、符号25に示すように酸素又は/及び窒素のいずれかをポリシリコン薄膜24にイオン注入する。イオン注入に先立ち、ポリシリコン薄膜24上に保護膜として二酸化ケイ素(SiO_2)層を約 $0.1 \mu\text{m}$ 形成する。この膜はイオン注入後にエッチングにて除去される。

【0054】イオン注入は、ポリシリコン薄膜24の膜厚全体にほぼ一様に分布する様に多数回に渡って実施する。本実施例の様に $1 \mu\text{m}$ の膜厚の場合には、イオン注入における各酸素又は窒素の平均投影飛程(R_p)と広がり(σ)を考慮してイオン注入エネルギー(E)を設定する。窒素のイオン注入の場合には、イオン注入エネルギー(E)を40、70、120、200、300、400 KeVに対して平均投影飛程と広がり($R_p \pm \sigma$)は、 0.09 ± 0.03 、 0.16 ± 0.05 、 0.28 ± 0.07 、 0.46 ± 0.09 、 0.68 ± 0.11 、 $0.88 \pm 0.13 \mu\text{m}$ となるので各々6回のイオン注入を繰り返すことによりほぼ $1 \mu\text{m}$ の膜厚全体に窒素を分布させることが可能となる。

【0055】ポリシリコン薄膜24の膜厚が $1 \mu\text{m}$ 以外の時また酸素のイオン注入においては、前記の窒素のイオン注入と同様に平均投影飛程(R_p)と広がり(σ)を考慮してイオン注入エネルギー(E)および回数を設定することができる。

【0056】窒素および酸素のイオン注入量はドーズ量として $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲で制御する。また、イオン注入の工程が終了した後は、イオン注入によってダメージを受けたポリシリコン薄膜24を回復させる為に $600 \sim 1000^\circ\text{C}$ の熱処理を約30分間実施す。

【0057】次に(d)にて、公知のホトリソグラフィ技術によりレジストを所定の形状に形成した後反応性イオンエッチング等の方法により半導体薄膜24をパターンニングし、発熱抵抗体4、測温抵抗体5a~5d、空気温度測温抵抗体6(図示せず)を形成する。その後、図示していないが端子電極12(12a~12h)、各抵抗体と端子電極12を接続するための配線接続部11

(11a~11l)が、アルミニウム、金等で形成される。

【0058】(e)では、端子電極12以外の部分を保護する為に電気絶縁膜7bを先の電気絶縁膜7aと同様に約 $0.5 \mu\text{m}$ の厚さに形成する。次に、シリコン半導体基板2に空洞8を形成するために、エッチングのマスク材23を所定の形状にパターンニングし半導体基板2のエッチング部のみを露出させる。マスク材23としては二酸化ケイ素あるいはよりエッチング選択比の高い窒化ケイ素等が用いられる。(f)では、最後に、シリコン半導体基板2の裏面より二酸化ケイ素あるいは窒化ケイ素等をマスク材23として、水酸化カリウム(KOH)等のエッチング液を用いて異方性エッチングすることにより空洞8を形成する。この様に構成した本実施例では、発熱抵抗体4及び測温抵抗体5a~5d、6をリン(P)又はボロン(B)を高濃度ドーパ処理し更に酸素又は窒素のいずれかをイオン注入して、抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下となるように設定する。これにより、発熱抵抗体4及び測温抵抗体5a~5d、6の抵抗温度係数(α)を比較的大きく保つことが出来、測温感度の向上が図れるとともに、発熱抵抗体4の高温における長期通電による経時変化が抑制された低コストな熱式空気流量センサが提供できる。

【0059】図7は、ポリシリコン薄膜の抵抗率(ρ)と不純物濃度の関係を、図8は、同じく抵抗温度係数(α)と抵抗率(ρ)の関係を、また、図9は、抵抗率(ρ)とイオン注入量(ドーズ量)の関係を示したものである。ケイ素(Si)半導体膜は一般的にサーミスタ的な抵抗-温度特性を示すが、温度範囲が比較的狭く且つ不純物ドーパ処理された場合には金属的な抵抗-温度特性(1)式を示す。

(数1)

$$R = R_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad \dots (1)$$

ここで、Rは温度(T)における半導体膜の抵抗値、 R_0 は温度(T_0)における半導体膜の抵抗値、 α は抵抗温度係数である。

【0060】特に測温抵抗体5a~5d、6としては、抵抗温度係数(α)の大きいことが検出感度が向上することから望まれる。また、発熱抵抗体4としては、抵抗率(ρ)が小さいことが、所望の温度(例えば 200°C)に加熱しようとしたときの発熱抵抗体を駆動する電圧を低減する上で望まれる。

【0061】特に、発熱抵抗体4としては、抵抗値を下げるためには、ポリシリコンの膜厚を厚くする対応が考えられるが、膜厚を厚くすると所望のパターンに精度良くエッチングすることが難しくなり材料コストの面からも好ましくない。エッチングが精度良く実現出来るポリシリコンの膜厚は約1ミクロンが限界であり、この厚さで10ボルト以下の駆動電圧で駆動出来る発熱抵抗体4の抵抗値は1k Ω 以下であり、図7の領域27で示した

10

20

30

40

50

不純物濃度が $2 \times 10^{20} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 以上で抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下の領域が選択される。

【0062】図8には、抵抗温度係数(α)と抵抗率(ρ)の関係28を示したが、抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下の領域29で抵抗温度係数(α)が増加する。

【0063】従って、図8に示した抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下の領域28では、低い抵抗率(ρ)にて大きい抵抗温度係数(α)($1000 \text{ (} \times 10^{-6} / ^\circ\text{C)}$)以上)が実現できる。この結果、測温抵抗体5a～5d、6、及び発熱抵抗体4とも、抵抗率(ρ)が $8 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下の領域28を適用することにより、同一不純物濃度のポリシリコン薄膜を一括して同時に形成できるので製造プロセスが簡略化され低コストな熱式空気流量センサが提供できる。

【0064】本実施例の発熱抵抗体4の抵抗値としては、電源電圧および発熱量の関係から50～900 Ω 、測温抵抗体5a～5d、6の抵抗値としては1～10k Ω を選択した。

【0065】また、図9は、抵抗率(ρ)とイオン注入量(ドーズ量)の関係30を示した。酸素および窒素のイオン注入量(ドーズ量)は $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の範囲が選択される。ドーズ量が $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ 以上では、イオン注入された窒素および酸素量が増大することによりポリシリコン膜内に二酸化ケイ素(SiO_2)および窒化ケイ素(Si_3N_4)の絶縁領域が形成され抵抗率(ρ)が大きくなる。一方、ドーズ量が $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 以下では、イオン注入量(ドーズ量)が少な過ぎて発熱抵抗体4の高温における長期通電による経時変化の抑制効果が十分では無くなる。

【0066】リン(P)およびボロン(B)がドーパ処理されたポリシリコン薄膜では、高温における長期通電によりポリシリコンの結晶粒間の粒界に不純物ドーパされたリン(P)およびボロン(B)が拡散析出し、その結果結晶粒内の不純物濃度が減少し抵抗値が増大する経時変化が認められる。

【0067】この高温における長期通電による抵抗値が増大する経時変化は、リン(P)およびボロン(B)の不純物濃度が増大するに従い減少するが、更に酸素および窒素のイオン注入が効果的である。酸素および窒素のイオン注入により、酸素および窒素のケイ素(Si)内での拡散係数がリン(P)およびボロン(B)に比較して一桁小さいことで、高温における長期通電による多結晶ケイ素(Si)の結晶粒界に不純物ドーパされたリン(P)およびボロン(B)が拡散することを阻害し安定化が図られる。

【0068】図10に比較例と本発明の発熱抵抗体4の高温通電による抵抗経時変化の結果を示す。加熱温度が250 $^\circ\text{C}$ で長時間通電した後に室温に戻した時の抵抗値の経時変化を試験前の抵抗値との比率にて示してある。

比較例は、リン(P)又はボロン(B)を高濃度ドーパし、酸素および窒素のイオン注入が無いポリシリコン膜で符号32で示し、本発明の実施例が符号33で示してある。図から、本発明のポリシリコン膜(リン(P)およびボロン(B)を高濃度にドーパし酸素および窒素をイオン注入したもの)では、発熱抵抗体4の高温における長期通電による経時変化の抑制効果が十分であることが分かる。

【0069】本実施例では、発熱抵抗体と測温抵抗体に対して示したが、発熱抵抗体のみの構成でも、またその他いかなる方式の場合においても、半導体基板2上に少なくとも感温抵抗体で構成された熱式空気流量センサに対して前記した本発明が適用できる。

【0070】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、空気流量計測の精度に優れ、長期の加熱通電においても抵抗値の安定化が図れる低コストな信頼性の高い内燃機関の吸入空気量の測定に好適な熱式空気流量センサと、この熱式空気流量センサを用いた内燃機関制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による熱式空気流量センサの一実施形態におけるセンサ素子の平面図である。

【図2】本発明による熱式空気流量センサの一実施形態におけるセンサ素子の断面図である。

【図3】本発明による熱式空気流量センサの一実施形態におけるセンサ素子の実装状態の一例を示す説明図である。

【図4】本発明による熱式空気流量センサの一実施形態におけるセンサ素子の実装状態の一例を示す要部拡大図である。

【図5】本発明による熱式空気流量センサの一実施形態における回路図である。

【図6】本発明による熱式空気流量センサの製造方法を説明するためのプロセス図である。

【図7】本発明による熱式空気流量センサの抵抗体の抵抗率と不純物濃度の特性図である。

【図8】本発明による熱式空気流量センサの抵抗体の抵抗率と抵抗温度係数の特性図である。

【図9】本発明による熱式空気流量センサの抵抗体の抵抗率とイオン注入量(ドーズ量)の特性図である。

【図10】本発明による熱式空気流量センサと比較例との発熱抵抗体の高温通電による経時変化の比較特性図である。

【符号の説明】

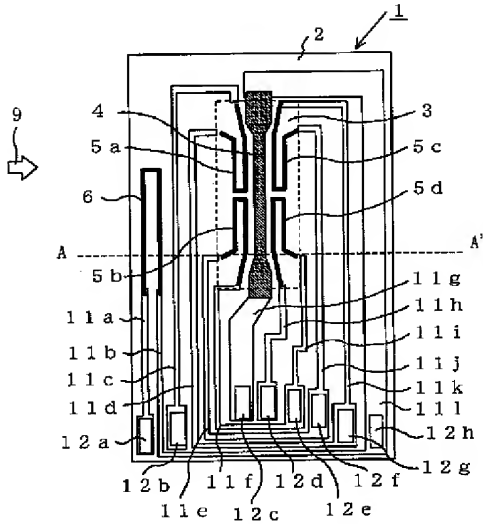
1…センサ素子、2…半導体基板、3…ダイヤフラム部、4…発熱抵抗体(感温抵抗体)、5a、5b…上流側測温抵抗体(感温抵抗体)、5c、5d…下流側測温抵抗体(感温抵抗体)、6…空気温度測温抵抗体(感温抵抗体)、7a…電気絶縁膜、7b…保護膜、8…空洞

部、24…多結晶ケイ素(Si)半導体膜、25…酸素

または窒素のイオン注入。

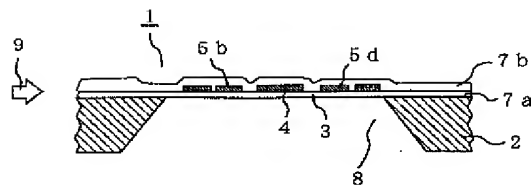
【図1】

図 1



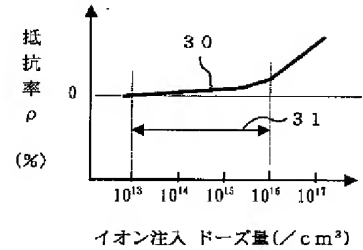
【図2】

図 2



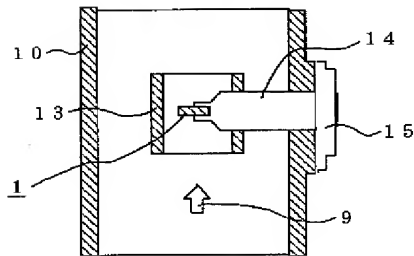
【図9】

図 9



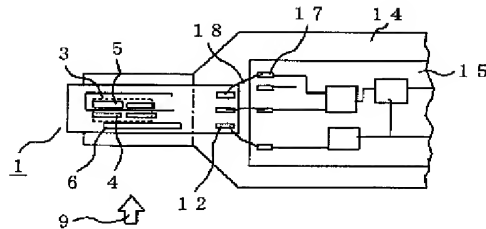
【図3】

図 3



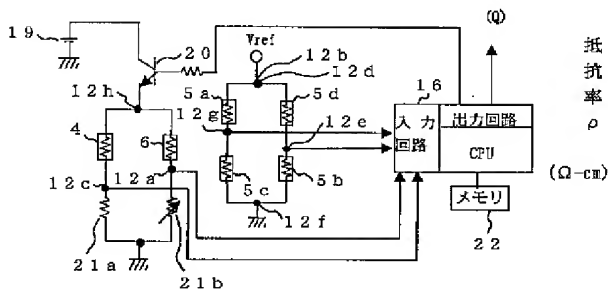
【図4】

図 4



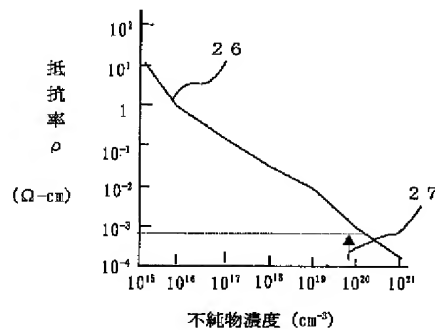
【図5】

図 5



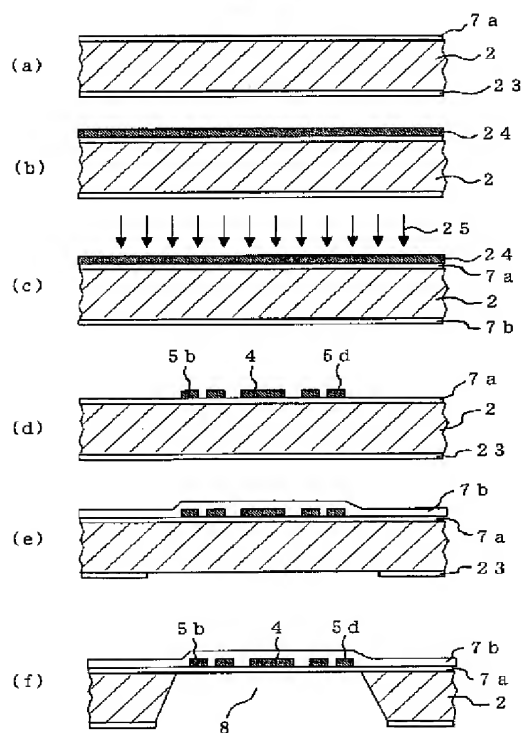
【図7】

図 7



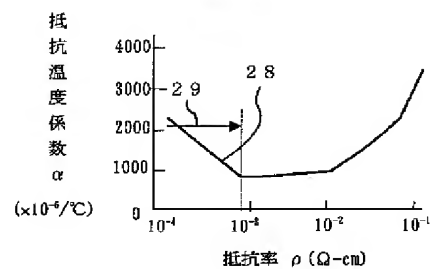
【図6】

図 6



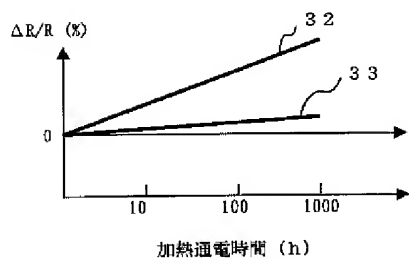
【図8】

図 8



【図10】

図 10



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 泉

茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会社日立カーエンジニアリング内

(72)発明者 中田 圭一

茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株式会社日立製作所自動車機器グループ内

Fターム(参考) 2F035 AA02 EA05 EA08

3G084 BA13 DA22 FA08

3G301 JA16 JA20 MA12 PA01Z